

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭61-213802

⑬ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和61年(1986)9月22日

G 02 B 5/18  
5/30  
6/347529-2H  
7529-2H  
7529-2H

審査請求 有 発明の数 2 (全8頁)

⑮ 発明の名称 光カブラ

⑯ 特 願 昭60-54326

⑰ 出 願 昭60(1985)3月20日

⑱ 発 明 者 波 多 腰 玄 一 川崎市幸区小向東芝町1 株式会社東芝総合研究所内  
 ⑲ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 川崎市幸区堀川町72番地  
 ⑳ 代 理 人 弁 理 士 則 近 憲 佑 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光カブラ

## 2. 特許請求の範囲

(1) 入射光を回折するグレーティングレンズを有し、このグレーティングレンズのパターンが、回折光を略一点に収束させるグレーティングレンズのパターンを表わす第1の関数に対し略周期的に変化する第2の関数でオフセットを与えられた第3の関数によつて形成されていることを特徴とする光カブラ。

(2) 前記第2の関数の周期 $\lambda$ は、

$$\lambda = \lambda f / (n_0 d)$$

但し  $\lambda$  : 使用する光の波長 $d$  : 第3の関数により形成されたグレーティングレンズの焦点の間隔 $f$  : 第3の関数により形成されたグレーティングレンズのパターン面と焦点との距離 $n_0$  : 第3の関数により形成されたグレー

ティングレンズのパターン面と焦点との間にある媒質の屈折率

で表わされることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の光カブラ。

(3) 前記第2の関数の周期は前記第3の関数により形成されたグレーティングレンズのパターンの2方向で異なることを特徴とする特許請求の範囲第2項記載の光カブラ。

(4) 基板上に形成された光導波路に、この光導波路を伝搬する導波光を回折するグレーティングレンズを有し、このグレーティングレンズのパターンが、回折光を略一点に収束させるグレーティングレンズのパターンを表わす第1の関数に対し略周期的に変化する第2の関数でオフセットを与えられた第3の関数によつて形成されていることを特徴とする光カブラ。

## 3. 発明の詳細を説明

〔発明の技術分野〕

本発明は、例えば光波を複数個の光ファイバに分岐したり、複数個の光源若しくは光ファイバか

らの光線を一つの光ファイバに合波する光カプラに関する。

#### 〔発明の技術的背景とその問題点〕

近時、分岐・合波用の光カプラとして第20図に示すようなホロカプラが報告されている (IEEE J. QUANTUM ELECTRON. QE-11 (1975) 794-796)。これは図示の如くホロカプラ (100) により一本の光ファイバ (102) からの光を二本の光ファイバ (104) に分岐するものである。このようなホロカプラ (100) は、第21図に示すように一点から発散する光 (108) と複数の点に収束する光 (108), (110) との干渉パターンを記録基板 (112) にホログラフィックに記録することにより作製される。この場合、記録基板 (112) として厚い乳剤層を持つ記録材料を用いれば比較的高い回折効率のホロカプラ (100) を得ることができる。しかしながら、ホログラフィックに記録してホロカプラ (100) を作製する方法では、使用する波長とホログラム記録に用いる波長が異なる場合にはそれによる収差が問題となる。例えば光通信に用いられる  $1\ \mu\text{m} \sim 1.6$

$\mu\text{m}$  の波長帯ではホログラム記録材料として適当なものがなく、そのため記録には可視光の波長を用いることになるが、この波長の違いによる収差があるため回折光は一点に収束されず、従って光ファイバへ光結合する際に高い効率が得られないことになる。また、この結合効率の低下は特に単一モードファイバを用いる場合に顕著となる。さらに、ホログラフィックな方法では記録の際に精密な光学系調整が必要とされ、量産には適さない。また、光カプラの特性として、分岐された光強度が一定、或いは場合によつて所定の分岐比に再現性良く分岐されることが要求されるが、上述の方法では分岐比を精度良くコントロールすることが困難である。

#### 〔発明の目的〕

本発明の目的は、各種波長帯の光を使用する場合にも収差が少なく、また分岐比のコントロールも可能でかつ量産に適した光カプラを提供することにある。

#### 〔発明の概要〕

本発明は、入射光或いは導波光を回折するグレーティングレンズを有し、このグレーティングレンズのパターンが、回折光を略一点に収束させるグレーティングレンズのパターンを表わす関数に対し略周期的に変化する関数でオフセットを与えられた関数によつて形成された光カプラを提供することにある。

#### 〔発明の効果〕

本発明によればグレーティングレンズの周期に周期関数のオフセットを与えることで任意の分岐数及び分岐比を持つた光カプラを容易に実現することができる。しかも本発明による光カプラはフォトマスク等を用いて容易に製造でき量産化に適している。また、光導波路に本発明におけるグレーティングレンズを設けることにより、分岐数、分岐比の制御された光導波路型の光カプラを得ることができる。

#### 〔発明の実施例〕

以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。第1図は本発明の第1の実施例を示すもので

ある。これは半導体レーザー (2) から出射された光がグレーティングレンズ (4) を有する光カプラ (6) により回折されて等間隔に並んだ複数の光ファイバ (8) に入射されるようになっている。以下、図示の如き光カプラ (6) の原理を第2図及び第3図を参照して説明する。ここでは、第2図に示すように第1図と同様の光カプラ (3) のグレーティングレンズ (4) 面とこのレンズの焦点面 (10) にそれぞれ  $x, y$  座標と  $\theta, \phi$  座標をとっている。この光カプラ (6) は同心円状のグレーティング模様を有しており、このグレーティングレンズ (4) の位相  $\Omega(x, y)$  は、次式で与えられている。

$$\Omega(x, y) = \Omega_0(x, y) + \Omega_1(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\Omega_0(x, y)$  は光源 (2) から出射された光 (4) と焦点 (10) に収束する光 (10) との  $x, y$  面における位相差であり、 $\Omega_1(x)$  は位相のオフセットを与える関数で  $x$  方向の周期が  $\lambda$  の周期関数である。このように本発明は光カプラのグレーティングレンズの位相関数が周期的に変化する関数でオフセットを与えられていることを特徴としている。このような構

成において焦点面00上の点Q( $\xi, \eta$ )における光カプラ(6)の回折光の強度 $I(\xi, \eta)$ は近軸近似を用いると次式で表わされる。

$$I(\xi, \eta) \propto \left\{ |a(\xi)|^2 \frac{\sin^2(M\pi\xi/d)}{\sin^2(\pi\xi/d)} \right\} \sin^2\left(\frac{\pi\eta}{\lambda f}\right) \quad \dots\dots ②$$

$$(\sin Cx = \sin x/x)$$

ここで、 $\lambda$ は光の波長、 $f$ はグレーティングレンズ(2)と焦点面00との距離、 $n_0$ はグレーティングレンズ(2)と焦点面00との間にある媒質の屈折率、 $A$ 及び $B$ は $x$ 方向及び $y$ 方向のグレーティングレンズの大きさ(長さ)、また $M$ 及び $d$ は次式で与えられる量である。

$$M = A/\lambda \quad \dots\dots ③$$

$$d = \lambda f / (n_0 A) \quad \dots\dots ④$$

また、②式中の $a(\xi)$ は位相関数 $\Omega_1(x)$ により決まる関数で次式で与えられる。

$$a(\xi) = \frac{1}{A} \int_0^A \exp \left\{ i \left( \Omega_1 + \frac{2\pi n_0}{\lambda f} \xi x \right) \right\} dx \quad \dots\dots ⑤$$

③式で示されるように $I(\xi, \eta)$ は $(md, 0)$ におい

に相当する。この場合の関数 $\Omega_1$ の具体的な与え方の一例としては第4図(b)に示すように $N$ 等分したものがあ。この $N$ 等分した各区分では

$$\Omega_1 = \alpha_n \quad (n=0 \sim N-1) \quad \dots\dots ⑥$$

とした場合を考える。第4図(b)に示すパターン $\Omega_1$ は、 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{N-1}$ から構成され第4図(c)に示すようになる。一般には、⑤式と⑥式より

$$|a(md)|^2 = \frac{1}{N^2} \sin^2 \frac{m\pi}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} \exp \left\{ i \left( \frac{2\pi nm}{N} \rightarrow \alpha_n \right) \right\} \right|^2 \dots\dots ⑦$$

ここで、分枝数 $N$ を例えば第4図に示すように $N=5$ とすると、⑦式を用いて

$$|a(-2d)|^2 = |a(-d)|^2 = |a(0)|^2 = |a(d)|^2 = |a(2d)|^2 \dots\dots ⑧$$

を解くことにより $\alpha_n$ が求まる。

位相のオフセットの関数 $\Omega_1$ の他の例としては第5図(a), (b)に示すようなものもある。この場合、第5図(b)のような $\Omega_1(x)$ とすればグレーティングレンズのパターンは第5図(a)のような斜線パターンとなる。このとき周期 $A$ 内の $x_1, x_2$ 点のパターン $\Omega_1(x)=0$ のときに対するそれぞれのずれ $\delta(x_1), \delta(x_2)$ は、グレーティングレンズのピッチを $L(x)$

でビークを持つ関数である( $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )。すなわち、 $\xi$ 面上では距離 $d$ で等間隔に位置する複数の点に回折光が収束することになる。従って、このような構造のグレーティングレンズにより第1図に示したような1:Nの分枝あるいは配置を逆にするとN:1の合波の機能を持つ光カプラが実現できる。この場合、複数の焦点の間隔 $d$ と関数 $\Omega_1$ の周期 $A$ とは④式の関係で与えられる。

第3図に焦点面におけば $\xi$ 方向の強度分布を示す。この図で実線は $\sin^2(M\pi\xi/d)/\sin^2(\pi\xi/d)$ 、破線は $|a(\xi)|^2$ の分布を表わしており、実際の強度分布は両者の積になる。 $\xi = md$  ( $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )において $\sin^2(M\pi\xi/d)/\sin^2(\pi\xi/d)$ は1となるから、結局各焦点に収束する光の強度比は $|a(md)|^2$ で決まることになる。 $a(\xi)$ は $\Omega_1$ を用いて⑤式で表わされるので、関数 $\Omega_1$ を変えることにより、様々な分枝強度比の光カプラを設計できる。

第4図(a)は $\Omega_1(x)=0$ すなわち、位相のオフセットがない場合のパターンの一例で、入射光を一点にのみ収束させるグレーティングレンズのパター

とすると

$$\delta(x_1) = L(x_1) \cdot \Omega_1(x_1) / 2\pi$$

$$\delta(x_2) = L(x_2) \cdot \Omega_1(x_2) / 2\pi$$

で与えられる。

この他、関数 $\Omega_1$ の例としては第6図に示すようなものであつても良い。

次に第7図は、第4図に示すような光カプラによる回折光強度分布のシミュレーション結果を示したものである。同様に $\alpha_n$ を調整して分枝数を3とした場合の結果を第8図に示す。第7図、第8図を比較して判るように、分枝数に対して $A$ の分割数 $N$ が多いほど自由度が増すため、所要の分枝以外への回折光パワーを小さくすることができる。さらに必要に応じて各分枝への強度比を異なるように設計することも可能である。

尚、第7図、第8図では5分枝、3分枝の場合を示したが、この各分枝された光強度は、適宜制御することができる。この分枝比の制御は、⑤式で各焦点の光強度に任意の比を与えて $\alpha_n$ を得ることにより可能である。

また、グレーティングレンズのパターンとしては振幅型のバイナリーパターンでも良く、また第9図に示すように、レリーフ型(位相型)バイナリーパターンすなわち、グレーティングレンズ基板(4)の厚さをグレーティングの位相に応じて変えたパターンとしても良い。このようなパターンは電子ビーム露光による直接描画あるいはフォトリソによるレジストの露光、現像によつて作製可能であり、またレプリカによる量産にも適している。

第10図はさらに回折効率を向上させるため、ブレース化したレリーフ型グレーティングとした例である。このような形状の場合にもレプリカ複製が可能である。

次に本発明の第2の実施例を第11図に示す。この図に示した光カプラ(2)は光ファイバ(24)から出射された光を2次元的に並べられた光ファイバ(26)へ結合させる。この場合グレーティングレンズ(22)の位相にオフセットを与える関数 $\Omega_1$ は、x方向だけでなくy方向にも周期的に変化する関数となつて

大きな収差は生じない。開口数が大きい場合および焦点の間隔が大きい場合にはグレーティングレンズの外周である程度の収差が生ずる。この場合例えば分岐数が2の場合に対して収差を抑えるには以下のようにすれば良い。すなわち第13図に示すように2つの焦点 $F_1$ 、 $F_2$ に対し、オフセットを与える関数 $\Omega_1(x, y)$ を次式で与える。

$$\Omega_1(x, y) = \frac{2\pi n_0}{\lambda} (\ell_1 - \ell_2) \quad \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

ここで $\ell_1$ 、 $\ell_2$ は点 $(x, y)$ と $F_1$ および $F_2$ との距離である。このとき $\Omega_1(x, y) = m\lambda$  ( $m$ : 整数)となる等位相線(28)は次式で表わされるような双曲線となる。

$$4\{(n_0 d)^2 - (m\lambda)^2\}x^2 - 4(m\lambda)^2 y^2 = (m\lambda)^2 \{4(n_0 f)^2 + (n_0 d)^2 - (m\lambda)^2\} \quad \dots\dots \textcircled{10}$$

$f$  が大きい場合には  $d \ll f$ 、 $m\lambda \ll f$  より上式は

$$x = m \frac{\lambda f}{n_0 d} \quad \dots\dots \textcircled{11}$$

となり、一周分の間隔は  $\lambda = \lambda f / (n_0 d)$  すなわち④式で表わされる関係となる。

いる。

また上述の例では光分岐の機能を示したが、入出力を逆にすると光合波も実現できる。第12図は本発明の第3の実施例を示したものである。この例では複数の半導体レーザ(30)から出射された光が光カプラ(32)により一本の光ファイバ(34)に結合される。このように本発明による光カプラを合波器として用いる場合には光源の波長誤差の許容度を比較的大きくとれるという利点がある。これはグレーティングレンズがインライン型であることによる。従つて同一波長だけでなく、20~50 Å程度の狭い波長間隔で並んだ光源からの光を光ファイバに結合させる波長多重用合波器としても使用できる。

また以上示した透過型グレーティングとしての使用の他に、金属蒸着などにより反射型のグレーティングを用いた光カプラの設計も可能である。

尚、③式は近軸近似による式であるが、焦点距離に比較してグレーティングレンズの大きさがそれほど大きくなり場合には、この近似を用いても

次に本発明の第3の実施例を第14図を参照して説明する。この例では誘電体基板(50)上に形成された2次元導波路層(52)及びこの導波路上に形成された導波路グレーティングレンズ(54)により光カプラが構成されている。これによれば半導体レーザ(56)から出射された光は、光導波路層(52)を伝搬する導波光(58)となり、さらにこの導波光(58)は導波路グレーティングレンズ(54)により回折されて導波路端面(60)上に位置する複数の焦点に収束し、それぞれの収束光が複数のファイバ(62)に結合される。さらに第15図(b)に第14図に示したグレーティングレンズ(54)のパターン例を示す。第15図(a)に示したパターンは $\Omega_1(x) = 0$ すなわち、位相のオフセットがない場合のパターンで、入射導波光を一点のみに収束されるグレーティングレンズのパターンに相当する。一方右側に示したのが $\Omega_1(x)$ として周期 $\lambda$ のある周期関数をとつたもので、格子の位相で場所により、もとのパターンとはずれている。このずれ $\delta(x)$ はグレーティングピッチ $L(x)$ を用いて、

$$\delta(x) = L(x) \cdot \Omega_1(x) / (2\pi) \quad \dots\dots ⑫$$

で与えられる。

第15図のようなパターンは電子ビーム露光による直接描画あるいはフォトマスクによるレジストの露光、現像によつて形成可能である。

光導波路に形成するグレーティングレンズ形状の他の例を第16図に示す。この例では導波光の進行方向のレンズ厚さを変えることにより位相を付加している。第17図に示す例では光ファイバ(64)より入射された光はグレーティングレンズ(66)により回折され、基板(50)中を伝搬する放射モードとなつて基板端面(68)に接続された複数の光ファイバ(70)に結合される。この場合の位相にオフセットを与える関数 $\Omega_1(x, z)$ の等位相線を第18図に実線で示す。図中破線はオフセットを与えない場合のグレーティングレンズパターンを表わす。この場合、第17図の光ファイバ(70)が並んでいる直線から $f$ だけ離れた直線(72)上における等位相線の間隔 $\lambda$ は光ファイバの間隔 $d$ に対して④式の関係で与えられる。ただしこの場合 $n_0$ は基板(1)の屈

折率を表わすことになる。 $z$ の値により、距離 $f$ が異なるので等位相線は第18図に示したような曲線となる。

第19図は本発明の第3の実施例を示したものである。この例では光ファイバ(74)は2次元的に並べられており、 $\Omega_1$ もそれに対応して2方向で周期的に変わる関数となつている。

以上は光分岐の例を示したが、入出力を逆にすると光合波も実現できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による光カブラの一例を示す図、第2図乃至第13図は光学基板に形成した光カブラを示す図、第14図乃至第19図は光導波路に形成した光カブラを示す図、第20図及び第21図は従来例を示す図である。

2, 12, 30, 56... 光源

4, 54, 68 ... グレーティングレンズ

6, 22, 32 ... 光カブラ

8, 24, 26, 30, 34, 62, 64, 70, 74... 光ファイバ

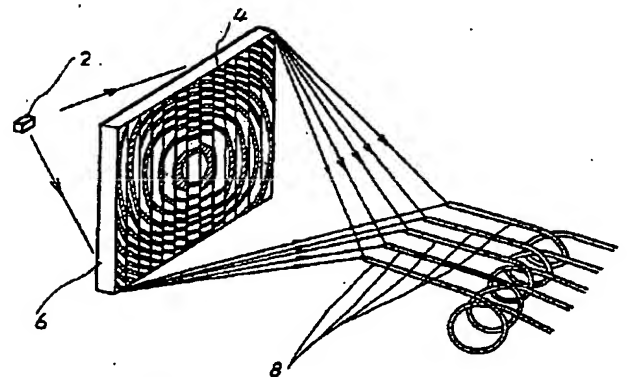
10 ... 焦点面

16 ... 焦点

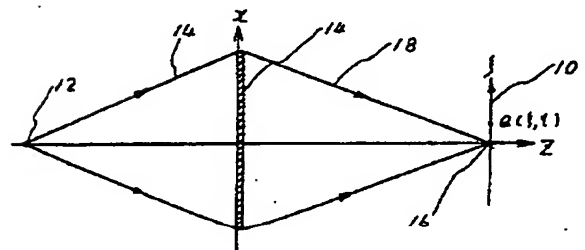
52 ... 光導波路層

代理人 弁理士 則 近 憲 佑 (ほか1名)

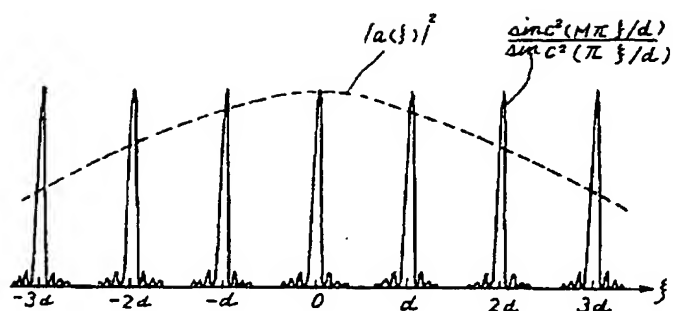
第 1 図



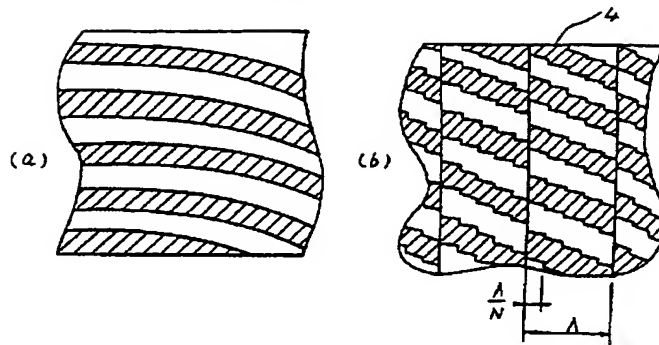
第 2 図



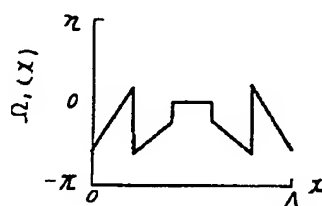
第 3 圖



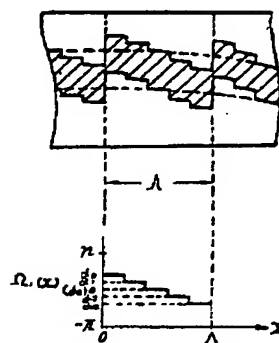
第 4 圖



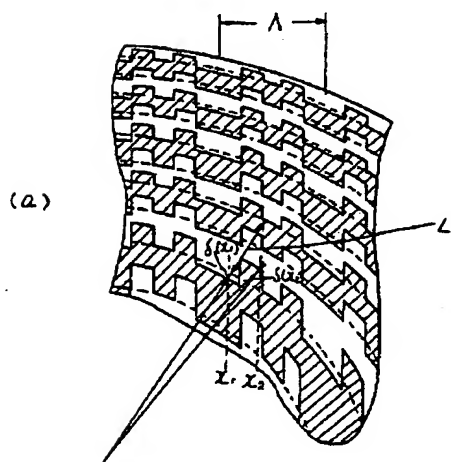
第 6 圖



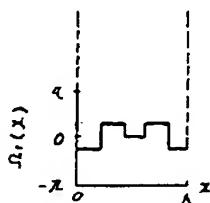
(c)



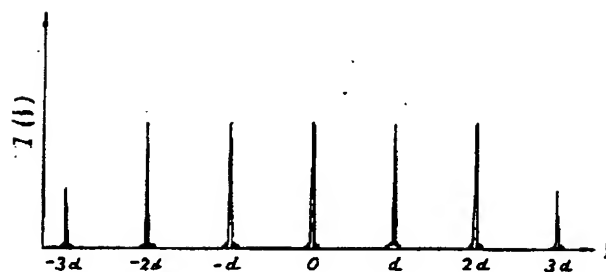
第 5 圖



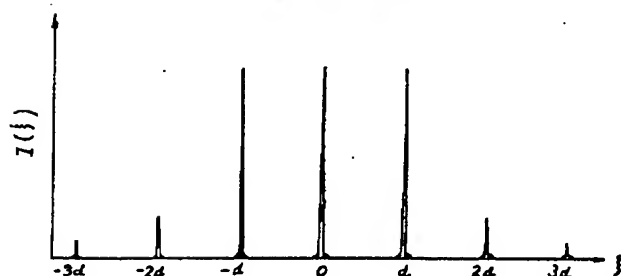
(b)



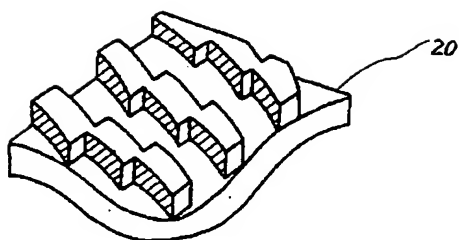
第 7 圖



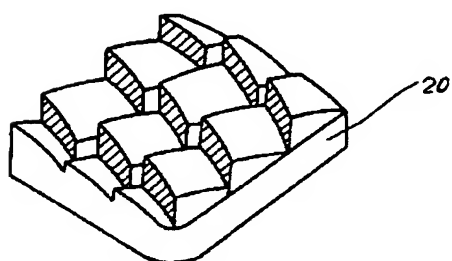
第 8 圖



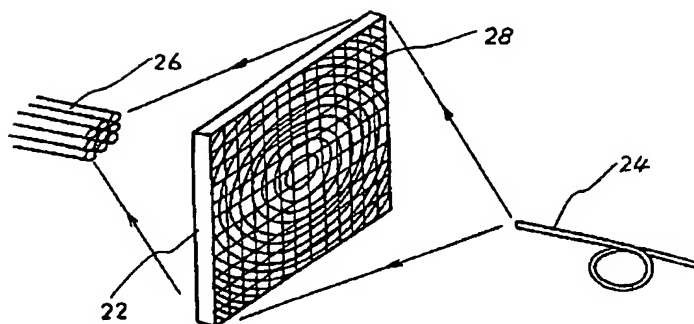
第 9 圖



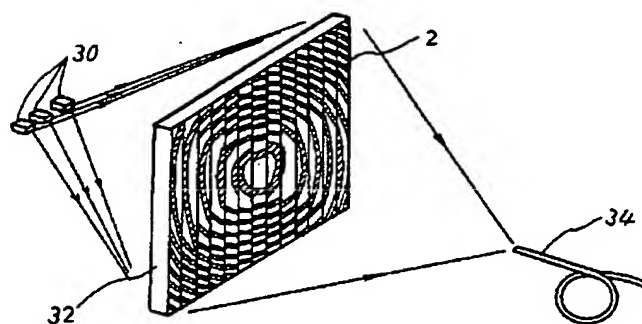
第 10 圖



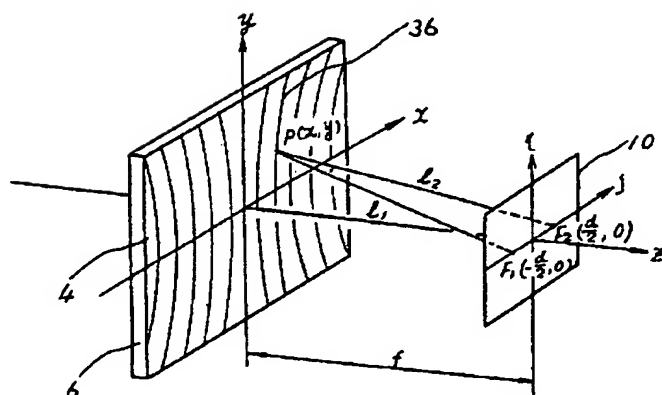
第 11 圖



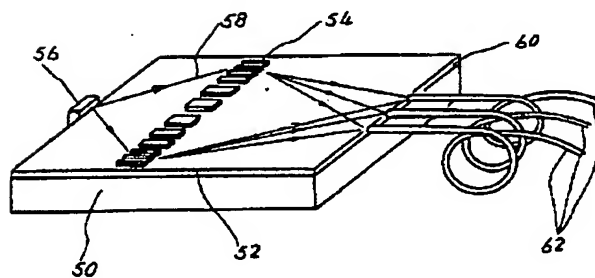
第 12 圖



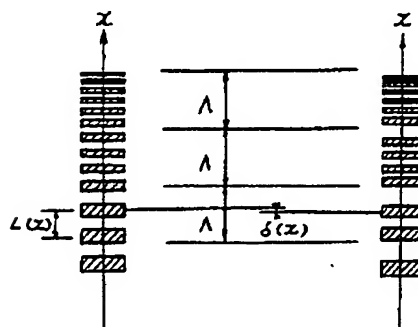
第 13 圖



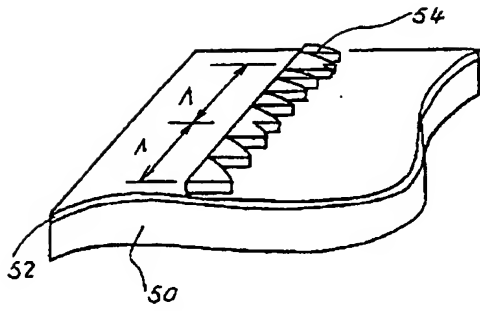
第 14 圖



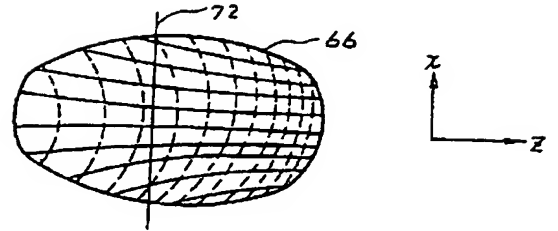
第 15 圖



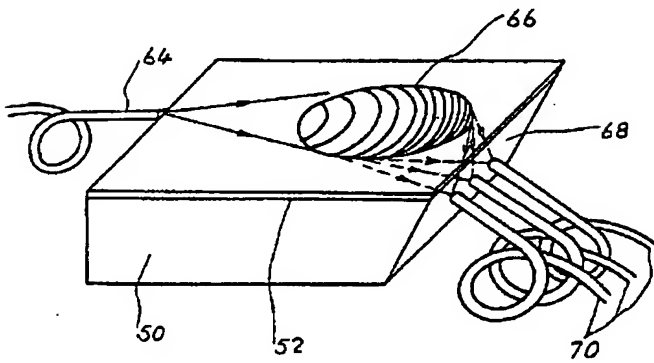
第 16 図



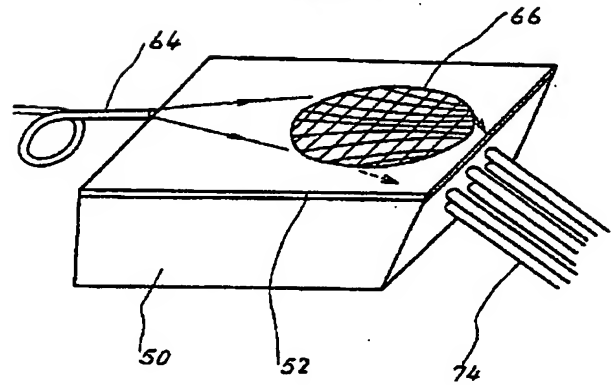
第 18 図



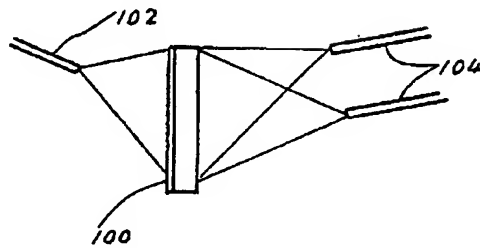
第 17 図



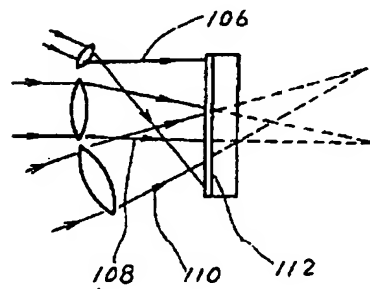
第 19 図



第 20 図



第 21 図







## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **61213802 A**(43) Date of publication of application: **22.09.86**

(51) Int. Cl

**G02B 5/18****G02B 5/30****G02B 6/34**(21) Application number: **60054326**(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**(22) Date of filing: **20.03.85**(72) Inventor: **HATAGOSHI GENICHI**(54) **OPTICAL COUPLER**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To obtain an optical coupler which has less aberrations even in case of the use of various wavelength bands and has a controllable branch ratio and is suitable for mass production, by forming the pattern of a grating lens with a function to which an offset is given by a function which changes approximately periodically with respect to a function expressing the pattern of the grating lens where a diffracted light is converged at one point.

**CONSTITUTION:**  $xy$  coordinates and  $\xi\eta$  coordinates are taken on a grating lens surface 4 and a focal surface 10 of the lens of the optical coupler respectively. This optical coupler 6 has a concentric circle-shaped grating pattern, and an offset is given to the phase function of this grating lens 4 by the periodically changing function. In this constitution, the intensity of the diffracted light of the optical coupler 6 at a point  $Q(\xi, \eta)$  on the focal surface 10 is a function having a peak at points  $(md, 0)$  ( $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ). That is, the diffracted light is converged at plural points placed at equal intervals of a length  $(d)$  on the  $\xi\eta$  surface. Thus, the

optical coupler having the  $N:1$  multiplexing function is realized if  $1:N$  branch or arrangement is reversed.

COPYRIGHT: (C)1986, JPO&amp;Japio

